Vol.12, No.3, Fall 2023, pp.61-80 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77450.1256 Open access

The Impact of Solifluctions in Daronagar River basin on Physical and Chemical Properties of Soil

Maliheh Batajrobeh[a], Neda Mohseni[b*], Seyyed Reza Hossienzadeh[c], Amir Lakzian[d]

[a] *PhD Candidate in Geomorphology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[b] *Associate Professor in Geomorphology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[c] *Associate Professor in Geomorphology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[d] *Professor in Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

Received: 11 July 2022 ***Revised: 19 October 2022*** ***Accepted: 31 October 2022***

Abstract

Solifluction is the displacement of mud crust on surface of fixed foundation that occurs in areas near glaciers and mountains, which is underestimated as a natural disturbance factor and its ecological role in maintaining biodiversity is ignored. This process affects the denudation of mountains less than fast processes (landslides) and geochemical transitions, but due to its extent, has a great impact on the evolution of mountain landscapes. In order to investigate the physical and chemical properties of different solifluction soils, 4 sites were selected in the Daronagar River basin, located in the north-east Iran, based on the lobe or terrace type. Then, sampling was done from different microtopography, including the riser, tread and ridge parts. Texture, organic carbon, available phosphorus and potassium, pH, electrical conductivity, equivalent calcium carbonate, saturated moisture, soil stability, and porosity were then measured. The results showed that the impact of investigated factors on soil porosity and available phosphorus was not significant. In other studied characteristics, only the simple effect of the type of the studied site was significant. The values of pH, electrical conductivity, saturated moisture, and available potassium in Sites 1 and 2 were lower compared to the other two sites and there was a significant difference. This trend was the opposite in terms of organic carbon, soil stability and equivalent calcium carbonate. The highest value of these parameters was observed in terrace-type solifluctions. It seems that the impact of soil displacement in all types of solifluctions, as well as mutual relationship of some soil characteristics and their effect on each other caused the emergence of different characteristics in the investigated solifluctions.

Keywords: Thawing-freezing Cycle, Daronagar River Basin, Soil Properties, Microtopography

* Corresponding author: Neda Mohseni Email: nedamohseni@um.ac.ir Tel:+989112916943

How to cite this Article: Batajrobe, M., Mohseni, N., Hossein Zadeh, S. R., & Lakzian, A. (2023).. The effect of solifluctions in Daronagar River basin on physical and chemical properties of soil. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 61-80.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.77450.1256

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77450.1256

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارۀ چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۸۰-۶۱

مقاله پژوهشی

تأثیر سولیفلکسیون‌های حوضه آبریز درونگر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

ملیحه باتجربه- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
ندا محسنی[1] - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
سید رضا حسین زاده - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
امیر لکزیان- استاد بیولوژی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۸/۹

چکیده

سولیفلکسیون عبارت است از جابجایی قشر گلی بر سطح زیربنای ثابت که در مناطق مجاور یخچالی و کوهستان‌ها رخ می‌دهد. این فرآیند کمتر از فرآیندهای سریع (زمین‌لغزش) و انتقالات ژئوشیمیایی بر برهنه شدن کوه‌ها تأثیر می‌گذارد، ولی به دلیل گستردگی، تأثیر زیادی بر تکامل مناظر کوهستانی دارد. این در حالی است که به‌عنوان عامل اختلال طبیعی دست‌کم گرفته شده و نقش اکولوژیکی آن در حفظ تنوع زیستی نادیده گرفته می‌شود. به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سولیفلکسیون‌های مختلف، ۴ سایت در حوضه آبریز رودخانه درونگر، واقع در شمال شرق کشور، براساس نوع پله‌ای یا زبانه‌ای انتخاب شدند. سپس از میکروتوپوگرافی مختلف شامل قسمت‌های پیشانی، کف و حاشیه نمونه‌گیری (درمجموع ۲۴ نمونه) انجام و بافت، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس، pH، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، رطوبت اشباع، پایداری خاکدانه و تخلخل اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تأثیر نوع سایت و میکرومورفولوژی بر تخلخل و فسفر قابل‌دسترس خاک معنی‌دار نبود. در سایر

---

۱ نویسنده مسئول:۰۹۱۱۲۹۱۶۹۴۳ Email: nedamohseni@um.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

باتجربه، ملیحه؛ محسنی، ندا؛ حسین زاده، سیدرضا؛ لکزیان، امیر؛ ۱۴۰۲. تأثیر سولیفلکسیون‌های حوضه آبریز درونگر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳). صص ۸۰-۶۱
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77450.1256

خصوصیات موردمطالعه تنها اثر ساده نوع سایت موردمطالعه معنی‌دار بود. مقادیر pH، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و پتاسیم قابل‌دسترس در سایت ۱ و ۲ در مقایسه با دو سایت دیگر کمتر بوده و اختلاف معنی‌داری داشت. این روند در مورد کربن آلی، پایداری خاکدانه و کربنات کلسیم معادل برعکس بود و بیشترین مقدار این فاکتورها در سولیفلکسیون‌های نوع پله‌ای مشاهده شد. به نظر می‌رسد تأثیر جابجایی خاک و ارتباط متقابل برخی خصوصیات خاک و اثرگذاری آن‌ها بر روی هم می‌تواند باعث به وجود آمدن خصوصیات مختلف در خاک سولیفلکسیون‌های موردبررسی باشد.

کلیدواژه‌ها: چرخه ذوب- انجماد، حوضه آبریز درونگر، خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک، میکروتوپوگرافی.

۱- مقدمه

جامعه علمی ژئومورفولوژی تا دهه ۱۹۹۰ تعاملات بیوژئومورفولوژی را جدی نگرفته بودند و در مورد اینکه بیوژئومورفولوژی چیست؟ چه فوایدی دارد؟ به کجا می‌رود؟ توافق و اجماعی وجود نداشت. دانش بیوژئومورفولوژی که ظهور واقعی آن به اواخر دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد به‌عنوان یک حوزه نسبتاً جوان در ژئومورفولوژی به تعامل و بازخورد بین اکولوژی، چشم‌اندازهای فیزیکی و فرایندهای سازنده آن‌ها می‌پردازد. فرآیندهای بیولوژیکی/اکولوژیکی (هوازدگی زیستی، فرسایش زیستی، آشفتگی زیستی) می‌توانند فرآیندهای پایه ژئومورفولوژیکی مانند (فرسایش و رسوب) را تحت تأثیر قرار دهند. هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها را خرد کرده و باعث افزایش سطوح تماس می‌شوند که در ادامه فرآیندهای پدوژنیک با تأثیر بر روی مواد مادری باعث به وجود آمدن خصوصیات مختلف خاک می‌شوند. به عبارتی تغییرات ژئومورفولوژی باعث تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده، بنابراین می‌توان گفت که ژئومورفولوژی ازجمله علومی است که نقش تعیین‌کننده‌ای در بررسی‌های مربوط به خاک از جنبه‌های مختلف دارد. نتیجه اینکه فرآیندها با تغییر الگوهای متداول خاک در مقیاس‌های کوچک می‌توانند زمینه ظهور دینامیک‌های بزرگ‌مقیاسی را در ساختار چشم‌انداز فراهم آورند. شایان ذکر است علی‌رغم اینکه سابقه تحقیق در مورد اشکال فرسایش و فرآیندهای دامنه‌ای در اکثر کتب ژئومورفولوژی در ایران موجود است (محمودی، ۱۳۷٤، احمدی، ۱۳۷۹، رفاهی ،۱۳۹٤)، اما پژوهش‌های موردی در خصوص تعیین روابط بین نوع اشکال فرسایش و عوامل محیطی مؤثر بر آن لندک بوده است. به‌طورکلی سولیفلکسیون‌ها یکی از گسترده‌ترین چشم‌اندازها و حرکات دامنه‌ای در مناطق کوهستانی و نواحی تپه‌ماهوری ایران هستند و به‌عنوان عوامل مهم اختلال طبیعی نادیده یا دست‌کم گرفته شده‌اند؛ تشکیل سولیفلکسیون‌ها منجر به تشکیل رسوبات شیب‌داری می‌شوند که از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت هستند و با فرآیندهای رسوبی و فرسایشی باعث توزیع مجدد مواد و تغییر حالت سطح می‌شوند و بر فرآیندهای بعدی مانند تشکیل خاک، نفوذ آب

و ریشه تأثیر می‌گذارند (وکل و همکاران[1]، ۲۰۱۱). سولیفلکسیون تنها به خصوصیاتی از خاک مانند بافت و رطوبت خاک مربوط نبوده؛ بلکه به‌طورکلی چندین عامل محیطی دیگر در شکل‌گیری و تحول فرم‌های سولیفلکسیون معرفی شده است، این عوامل شامل: (الف) متغیرهای توپوگرافی، مانند زاویه شیب، (ب) متغیرهای آب و هوایی ازجمله دمای هوا، خاک، پوشش برفی و (پ) وقوع یخبندان دائمی می‌باشند (ردفیلت[2] و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین تحقیقات مختلف نقش پوشش گیاهی را در تأثیرگذاری بر سولی فلوکسیون برجسته کرده است. تأثیر عوامل فوق باعث می‌شود ویژگی‌های متمایزی از انواع سولیفلکسیون شامل غده‌ای یا پشته‌ای[3]، زبانه‌ای[4]، صفحه‌ای[5] و پله‌ای[6] به وجود می‌آید (ماتسوکا[7]، ۲۰۰۱، بندیکت، ۲۰۱۰).

هر سولیفلکسیون به‌طور هم‌زمان سایت‌های رسوبی و فرسایشی ایجاد می‌کند و با توزیع مجدد مواد باعث ایجاد تغییرات در سطح شده و بر مکان‌ها تأثیر می‌گذارد که نتیجه این امر باعث کنترل ترکیب گونه‌های گیاهی و الگوهای توزیع در ابعاد میکرو می‌شود. نرخ حرکت در سولیفلکسیون حتی در ابعاد میکرو و به‌صورت محلی بسیار متغیر است (بندیکت،۱۹۷۰) که باعث به وجود آمدن میکروتوپوگرافی‌های پیچیده‌ای (در مقیاس سانتی‌متر تا دسی‌متر و میلی‌متر) و تنوع زیستگاه‌های کوچک می‌شود. این میکروتوپوگرافی‌ها شامل قسمت‌های پیشانی[8] – کف[9] –حاشیه[10] می‌باشند (روسی و مالنسون[11] ، ۲۰۱۲. کانون و گوگلیلمی[12]، ۲۰۱۰. کلرر-پیرکلبائر[13]، ۲۰۱۸). در این رابطه می‌توان به کار ایشل و همکاران[14] در سال ۲۰۲۰ ، اشاره کرد که با استفاده از پهپاد به بررسی الگوی حرکتی پیشانی و کف در سولیفلکسیون زبانه‌ای پرداختند و درنهایت ارتباط بین الگوهای حرکتی و عواملی مانند متغیرهای ژئومورفومتریک، مواد مادری، دما و پوشش گیاهی را به دست آوردند. به‌طور مشابه کلرر–پیرکلبائر در سال ۲۰۱۸ با مطالعه نرخ سولیفلکسیون و کنترل‌های زیست‌محیطی تأثیر ویژگی‌های محیطی شامل لیتولوژی، رسوب‌شناسی، اقلیم، پوشش گیاهی، هیدرولوژی و توپوگرافی را بر انواع مختلف سولیفلکسیون مانند پیپ کراک، ژلیفلوکسیون، خزش یخزدگی (شامل خزش یکساله و خزش روزانه است) بررسی کردند.

1 Völkel
2 Ridefelt
3 hummock
4 Lobe
5 sheet
6 terrace
7 Matsuoka
8 Riser
9 Tread
10 Ridge
11 Rose and Malanson
12 Cannone and Guglielmi
13 Kellerer-Pirklbauer
14 Eichel

تاکنون مطالعات چشم‌گیری بخصوص در ایران در رابطه با تأثیر سولیفلکسیون بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام نشده است اما اخیراً در رابطه با سایر حرکات دامنه‌ای مانند زمین‌لغزش مطالعات گسترده‌ای انجام شده است. گزارش‌ها در مورد تأثیر فرآیندهایی مانند زمین‌لغزه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مقایسه با نمونه‌های شاهد نتایج مختلف و متناقض را نشان می‌دهند. به‌عنوان‌مثال ردی و سینگ[1] (۱۹۹۳) و زرین و جانسون[2] (۱۹۹۵) افزایش کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل‌دسترس و کاتیون‌های محلول و (لاندگرن[3] ،۱۹۷۸، ماسیجینا و همکاران[4]، ۲۰۱۹) کاهش کربن آلی، رس و عناصر غذایی را در خاک‌های سطحی مناطق دارای زمین‌لغزه در مقایسه با شاهد در طی زمان گزارش داده‌اند. در مورد علت این نتایج والکر و شیلز[5] سال ۲۰۱۳ گزارش کردند که ناهمگونی مکانی زیاد مواد مادری در یک زمین‌لغزش ممکن است مانع مهمی برای تغییرات بعدی باشد. وان انده و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر زمین‌لغزش بر عناصر خاک مانند: پتاسیم قابل‌دسترس، سدیم و کلسیم و منیزیم محلول، بلفت، pH و کربن آلی خاک پرداختند. نتایج نشان داد که لغزش‌های جدید دارای مقادیر کم کربن آلی و پتاسیم قابل‌دسترس و مقادیر بیشتر سنگریزه و سدیم محلول نسبت به خاک‌های مجاور بوده است. مقدار کربن آلی خاک با گذشت زمان به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته به عبارتی زمین‌لغزش‌های قدیمی‌تر دارای مقادیر بالاتری از کربن آلی نسبت به خاک‌های مجاور بودند.

همچنین ماسیاگینا و همکاران[6] (۲۰۱۹) با بررسی توالی اکوسیستم در زمین‌لغزش‌هایی با سنین متفاوت به این نتیجه رسیدند که این تغییرات سبب تغییر چشم‌انداز، خاک و زیست‌بوم‌ها می‌شود. به‌طورکلی بعد از گذشت یک سال از این رخداد افت میزان تنفس خاک و ذرات معدنی کربن و نیتروژن خاک چهار برابر کمتر در قسمت میانی خاک لخت در مقایسه با نقاط کنترل و بدون تأثیر زمین‌لغزش را نشان داد. علاوه بر این، تخریب یخبندان دائمی به دلیل رانش زمین به‌وضوح مانع تجمع مواد آلی خاک می‌شود.

کولن و همکاران[7] سال ۲۰۲۲ ، با بررسی اثرات و نقش سه نوع زمین‌لغزش (با توجه به نوع مواد و شکل جابجایی) در سه سطح از تنوع بیوفیزیکی (اکولوژیکی) شامل تنوع خاک، تنوع سایت، تنوع اکوسیستم‌ها به تصدیق نقش زمین‌لغزش در تغییرات محیطی و سایت‌ها پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که زمین‌لغزش‌ها نه‌تنها سبب تشکیل مراحل ابتدایی خاک در منطقه فرسایش[8] یا به عبارتی رخنمون مواد مادری و افق C شده بلکه بر باز توزیع بافت خاک و افق A در مناطق رسوبی[9] نیز تأثیر گذاشته، همچنین زمین‌لغزش با تأثیر بر ترکیبات مختلف

1 Reddy and Singh
2 Zarin and Johnson
3 Lundgren
4 Masyagina et al
5 Walker and Shiels
6 Masyagina et al
7 Cullen et al
8 depletion zones
9 accumulation zones

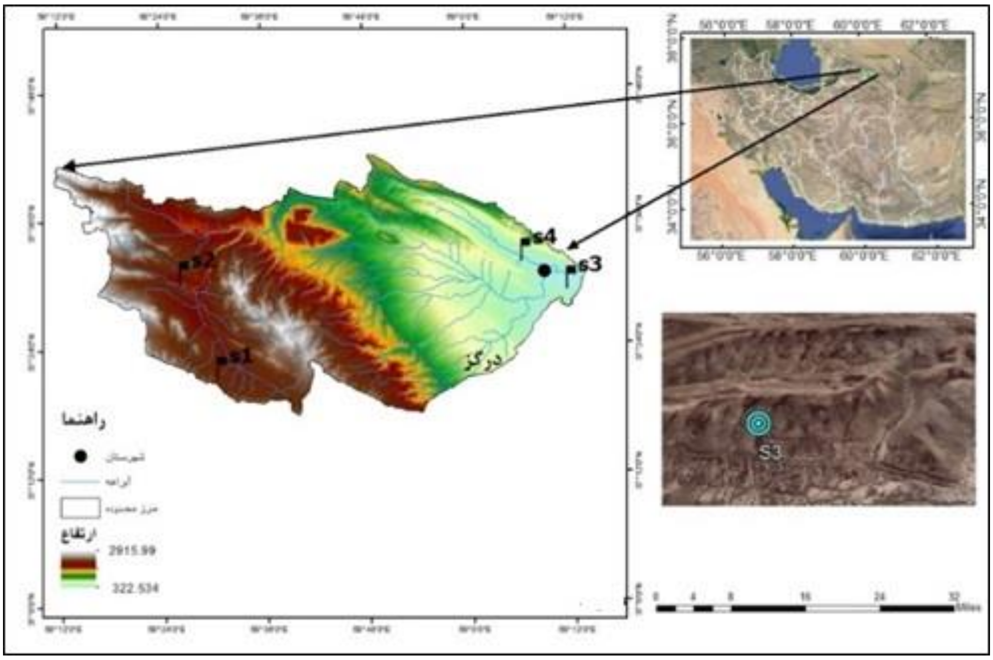
میکروتوپوگرافی، بستر، خاک (شیمی مواد ، بافت، تخلخل و...)، رطوبت و پوشش گیاهی منجر به تشکیل و تغییر انواع زیستگاه‌ها برای گونه‌های مختلف می‌شود.

با توجه به مطالب بیان شده پیرامون پیدایش و تأثیر محیط بر تشکیل سولیفلکسیون، در این تحقیق هدف بر این بوده که تأثیر تشکیل دو نوع سولیفلکسیون زبانه‌ای و پله‌ای و همچنین میکرومورفولوژی‌های مختلف آن‌ها بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک موردبررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده موردمطالعه

منطقه موردمطالعه حوضه آبریز رودخانه درونگر است که در رشته‌کوه‌های کپه داغ در شمال شرق کشور و در شمال استان خراسان رضوی واقع گردیده است. محدوده موردمطالعه، بخشی از حوضه آبریز قره قوم بوده که با وسعت ۳۲٦٤ کیلومترمربع، بین ″ ۵۵ ´۱۱ °۳۷ تا ″ ۱۸ ´٤۲ °۳۷ عرض شمالی و ″ ۳۰ ´۱۱ °۵۸ تا ″ ۲٤ ´۲۷ °۵۹ طول شرقی واقع شده است که در بخش شمالی با کشور ترکمنستان هم مرز است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه و پراکندگی سایت‌های مطالعاتی

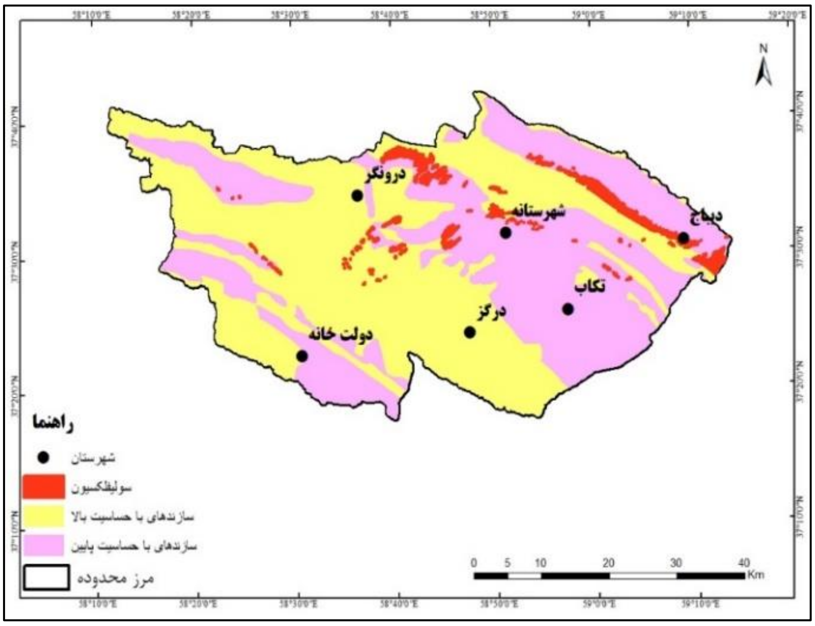
۲-۲-ویژگی‌های زمین‌شناسی سایت‌های مطالعاتی

قسمت وسیعی از این حوضه را کوهستان‌ها و اراضی غیر مسطح تپه ماهوری به خود اختصاص می‌دهند، سازندهای ریزدانه‌ای که با توجه به ساختار خاص خود، مقاومت کافی و لازم در برابر فرآیندهای فرسایشی را نداشته و با سرعتی بیشتر از سایر سازندهای زمین‌شناسی تخریب می‌شوند. در این حوضه سازندهای زمین‌شناسی مستعد سولیفلکسیون حدود ۵۱/۳ ٪ از وسعت منطقه را در برگرفته و این خود مبین حساسیت خاص این حوضه به عوامل فرسایش است. سایت‌های ۳ و ٤ در سازند خانگیران (ماسه‌سنگ و شیل سبز)، سایت ۲ در سازند سرچشمه (شیل آمونیت دار با میان لایه‌های سنگ‌آهک اربیتولین دار) و سایت ٤ واقع در ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع بوده است (جدول ۱، شکل ۲).

جدول ۱- حساسیت سازندهای زمین‌شناسی منطقه نسبت به فرسایش آبی(سولیفلکسیون)

ردیف	واحد	مواد مادری	وسعت (هکتار)	وسعت درصد	وضعیت سازند زمین‌شناسی نسبت به فرسایش آبی (سولیفلکسیون)			وضعیت سولی‌فلکسیون	درصد
					حساسیت	امتیاز کیفی	امتیاز کمی		
۱	Kab	مارن و شیل (سازند آب تلخ)	٦۰۱	۰/۲	منفصل	بسیار نامناسب	۹	تراکم بالای سولیفلکسیون	۵۱/۳
۲	Qft2	ذخایر پله‌ای و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع	٦۰۱۵٤	۲٤/۵	منفصل	بسیار نامناسب	۹		
۳	Qft1	ذخایر پله‌ای و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی کم ارتفاع	۲۰۷۷	۰/۸	منفصل	بسیار نامناسب	۹		
٤	PeEck	سنگ‌آهک، مارن و مارن گچی	٦۵۷٦	٤/۷	منفصل- منفصل- یکپارچه	مناسب	۷		
۵	Ksn	شیل خاکستری تا تیره و لایه‌های نازکی از سیاتستون و ماسه	٤۸۹۹	۵	منفصل- منفصل- یکپارچه	مناسب	۷		
٦	Ksr	شیل آمونیت دار با میان لایه‌های سنگ‌آهک اربیتولین دارس	۱۸۲۹۹	۷/۵	منفصل- یکپارچه	متوسط	۵		
۷	Ekh	ماسه‌سنگ و شیل سبز (سازند خانگیران)	۱۱۷۱٤	٤/۸	منفصل- یکپارچه	متوسط	۵		
۸	Kat	ماسه‌سنگ و گلوکونیتی و شیل (سازند آتامیر)	۲۱۸۲	۰/۹	منفصل- یکپارچه	متوسط	۵		

ردیف	واحد	مواد مادری	وسعت (هکتار)	وسعت درصد	وضعیت سازند زمین‌شناسی نسبت به فرسایش آبی (سولیفلکسیون)			وضعیت سولی‌فلکسیون	درصد
					حساسیت	امتیاز کیفی	امتیاز کمی		
٩	Kad	چرت اینوسراموس دار و سنگ‌آهک گلوکونیتی آرژیلی (سازند آب)	٤٨٧٥	٢	منفصل- یکپارچه	متوسط	٥		
١٠	PeEps-ck	واحد تفکیک نشده شامل کنلگومرا، ماسه‌سنگ، آهک و مارن	٤٧٧	٠/٢	منفصل یکپارچه- یکپارچه	نامناسب	٣	تراکم پایین یا فاقد سولیفلکسیون	٤٨/٧
١١	Ktr	سنگ‌آهک الیتیک و اربیتولیندار بیوکلاستی (سازند تیرگان)	١٠٧٧٤٧	٤٠/٩	یکپارچه	بسیار نامناسب	١		
١٢	PlQc	کنگلومرای پلی ژنیک سست	١٧٣٧	٠/٧	منفصل	بسیار نامناسب	١		
١٣	Jmz	سنگ‌آهک و دولومیت (سازند مزدوران)	٧١٨	٠/٣	یکپارچه	بسیار نامناسب	١		
١٤	Knz	ماسه‌سنگ گلوکونیتی (سازند نی زار)	٢٣٥٦٥	٦/٦	یکپارچه	بسیار نامناسب	١		



شکل ٢- پراکندگی پهنه‌های سولیفلکسیون بر روی انواع سازندها با حساسیت‌های متفاوت

۲-۳- سایت‌های موردمطالعه و نمونه‌برداری خاک

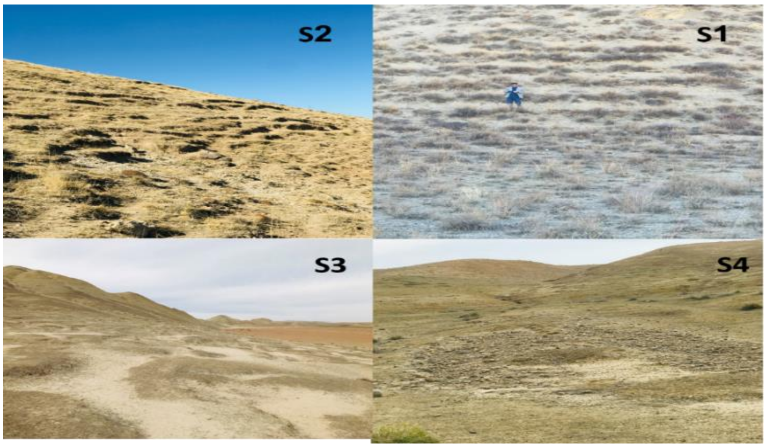
در این تحقیق دو نوع ســـولیفلکســـیون پله‌ای و زبانه‌ای (جریانی) که هریک فرم‌های متنوعی از نظر ویژگی‌های مورفومتری و الگوهای پراکنش داشته انتخاب شدند. دو سایت مطالعاتی به‌عنوان معرف تیپ پله‌ای و دو سایت دیگر معرف تیپ زبانه‌ای در سطح منطقه انتخاب گردیده است (جدول ۲). هر دو تیپ یاد شـده از سه بخش مشـخص پیشانی، کف و حاشیه تشکیل شـده‌اند که از این بخش‌ها تحت عنوان میکروتوپوگرافی‌های سولیفلکسیون یاد شـده است. انواع میکروتوپوگرافی‌ها، سیسـتم‌هایی پویایی هسـتند که عوامل زیسـتی و فیزیکی-شـیمیایی دائماً در آن‌ها در حال تغییر است. به همین دلیل بیشتر از لندفرم‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر می‌توانند تغییرات محیطی را ثبت کنند (قهرودی و همکاران، ۱۴۰۰).

بنابراین در هرکدام از سایت‌ها سه نوع میکرومورفولوژی انتخاب شده و از هر بخش ۲ نمونه برداشت شد (شکل ۳). طبق گفته فرنچ (۱۹۹۶)، نوع زبانه‌ای اغلب در زمین‌هایی با زوایای ۲-۴ درجه ظاهر می‌شـوند. ولی نوع پله‌ای در مناطق با شیب بیشتر به بهترین شکل توسعه می‌یابند. همان‌طور که در جدول شماره ۲ ملاحظه می‌شود و با توجه به مطالب گفته شده میزان شیب و ارتفاع در سایت‌های زبانه‌ای کمتر از سایت‌های پله‌ای است. در بازدید و مشاهدات میدانی سایت‌های ۱ و ۲ از نوع پله‌ای به همراه پوشش غالب بوته‌ای و ریشه‌های عمیق، در دامنه‌ای نامنظم، پرشیب و مقعر با ضـخامت خاک بالای دو متر قرار گرفته بودند. سـولی فلوکسـیون‌های سـایت‌های ۳ و ۴ از نوع زبانه‌ای و در حال از بین رفتن بودند که در این سایت‌ها ضخامت خاک پایین، دامنه محدب و رو به شمال بوده است.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیوگرافی سایت‌های موردمطالعه

سایت	نوع سولیفلکسیون	ارتفاع (متر)	شیب (درصد)	جهت شیب
S1	پله‌ای	۱۸۹۳	۴۳/۳	جنوبی
S2	پله‌ای	۱۵۹۲	۴۲/۸	شمال شرقی
S3	زبانه‌ای	۳۸۷	۴	شرقی
S4	زبانه‌ای	۳۹۰	۷	جنوبی

.



شکل ۳- سایت‌های موردمطالعه شامل S1 و S2 پله‌ای- S3 و S4 زبانه‌ای

درمجموع تعداد ٢٤ نمونه‌ی انتخاب شـــده از عمق صــفر تا ٣٠ ســـانتی‌متر جمع‌آوری و جهت حفظ رطوبت، کلوخه‌های خاک در ظروف پلاستیکی در بسته قرار داده شد و پس از انتقال به آزمایشگاه و حذف سنگ‌ریزه‌های درشت و ریشه‌ها، در هوای آزاد خشک شدند. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ابتدا نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و سپس خصوصیاتی شامل pH (استفان و همکاران[1] ، ٢٠١٣)، هدایت الکتریکی (کاتر و گریگوریچ[2] ، ٢٠٠٧)، کربن آلی خاک (والکی و بلک[3]، ١٩٣٤)، فسفر قابل‌دسترس (السن و سومر[4] ،١٩٨٢)، پتاسیم قابل‌دسترس (پانسو و گوتیرو[5] ، ٢٠٠٧)، تخلخل، کربنات کلسیم معادل (لوپیرت و سوارز[6]، ١٩٩٦)، درصد پایداری خاکدانه (کامپیر و روســنا، ١٩٨٦)، بافت به روش هیدرومتری (بویوکس[7]، ١٩٦٢) و رطوبت اشـباع خاک اندازه‌گیری شدند.

برای مقایسه سایت‌های مختلف از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از آنالیز واریانس استفاده شد. در صورت رؤیت تفاوت معنی‌دار در نتایج تجزیه واریانس، از آزمون تکمیلی توکی[8] برای مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری ٥ درصد استفاده شد. برای تعیین رابطه بین ویژگی‌های خاک در بخش‌های مختلف از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

1 Estefan et al
2 Carter and Gregorich
3 Walkley and Black
4 Olsen and Sommers
5 Pansu and Gautheyrou
6 Loeppert and Suarez
7 Bouyoucos
8 Tukey

۳- نتایج

نتایج اندازه‌گیری بافت نمونه خاک‌های موردمطالعه نشان داد که در سایت‌های دارای سولیفلکسیون پله‌ای دامنه مقدار رس بین ۱۷ تا ۲۷، شن بین ۱۸ تا ٤۷ و سیلت بین ٤۹ تا ٦۳ درصد بود این در حالی است که در سولیفلکسیون‌های نوع زبانه‌ای مقدار رس بین ۲۲ تا ٤٤، شن بین ١٦ تا ۲۸، و سیلت بین ۳٦ تا ٥٦ درصد بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی نشان داد که از بین فاکتورهای موردمطالعه، تنها اثر ساده سایت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، رطوبت اشباع و پتاسیم قابل‌دسترس خاک معنی‌دار بود و اثر ساده نوع میکرومورفولوژی و همچنین اثر متقابل این دو بر خصوصیات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود. لازم به ذکر است که تأثیر انواع سولی‌فلکسیون بر میزان تخلخل و فسفر قابل‌دسترس خاک نیز معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر انواع سولیفلکسیون، میکروتوپوگرافی‌ها و اثر متقابل این دو بر خصوصیات اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	هدایت الکتریکی	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رطوبت اشباع	تخلخل	پتاسیم	فسفر	درصد پایداری خاکدانه
		میانگین مربعات								
سایت	۳	۰/۲٤**	۱۷/۱۳**	۰/٥۲**	۳۱۲/٤**	۳۳۲/٤**	۹/۰۹^{ns}	۱٥۷۸۸**	۱۸/٥٤^{ns}	۷۷۱/۹**
میکرومورفولوژی	۱	۰/۰۳^{ns}	۳/٤٥^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/٥۲^{ns}	٦٦/۱۷^{ns}	۱۲/٤۹^{ns}	۸۱۹^{ns}	۰/۹۹ ^{ns}	۳۷/۲ ^{ns}
سایت*میکرومورفولوژی	۳	۰/۰۰۰٥^{ns}	۲/٦۳^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۷٥^{ns}	۷/۸٤^{ns}	٥/۰٥^{ns}	۷۸۲^{ns}	۱۱/۲۸^{ns}	۸/۹۸^{ns}
خطا	۸	۰/۰۱۱	۲/٤٦	۰/۰٥٤	۹/۷۹	۱۳/۹۱	۸/٤۱	۳٤۱	۱٥/٤۳	۲۲/۷٦
کل	۱٥									

ns و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشند.

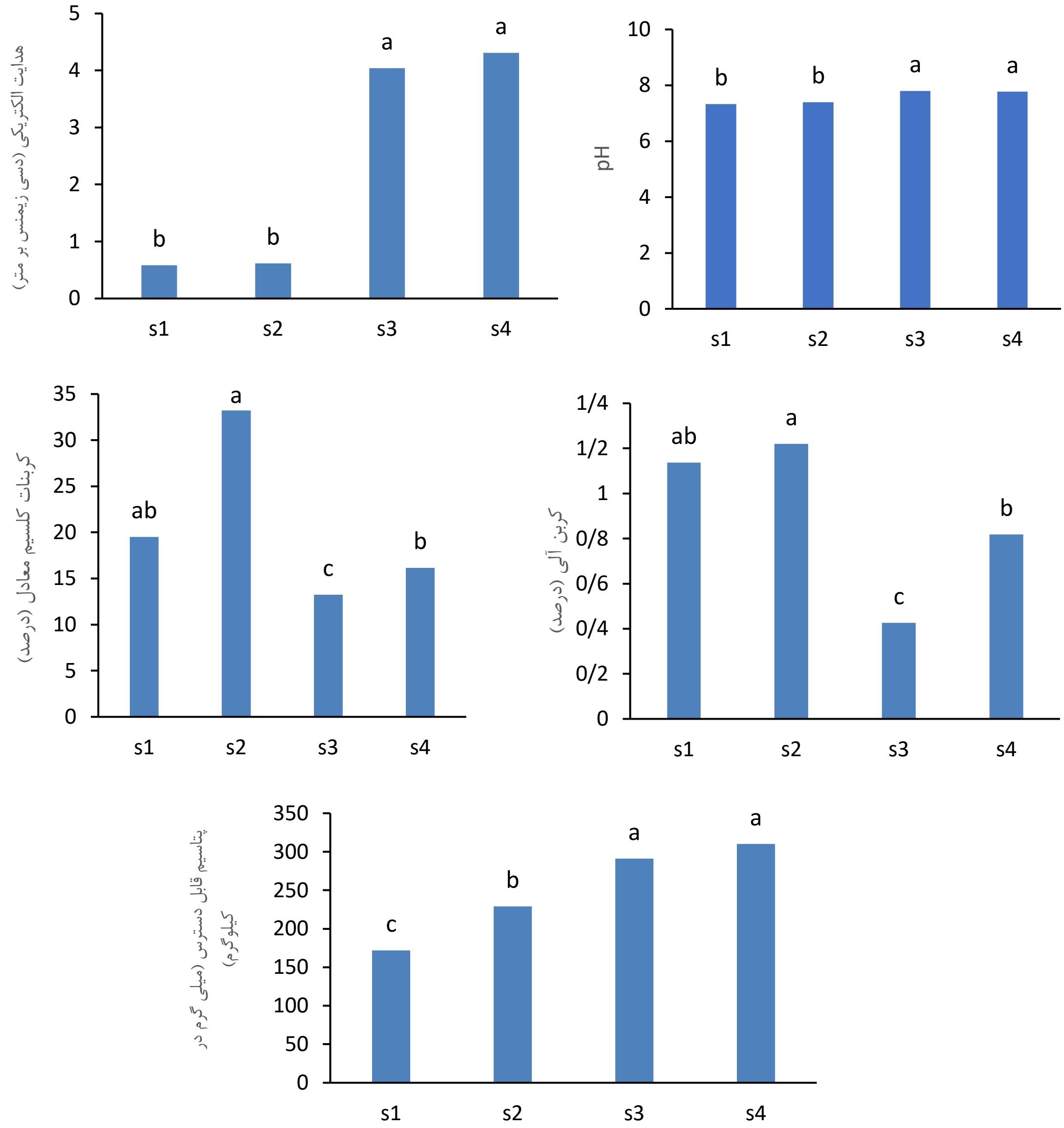
نتایج بررسی اثر ساده سایت‌های موردمطالعه بر میزان pH خاک گواه این مطلب بود که در دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای موردمطالعه میزان متغیر اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری داشت. به‌طورکلی دامنه تغییرات این متغیر کم بوده و محدوده pH اندازه‌گیری شده در این چهار سایت بین ۷/۳۳ تا ۷/۸۰ بود. بیشترین و کمترین میزان pH خاک اندازه‌گیری شده به ترتیب در دو سایت ٤ و ۱ مشاهده شد. لازم به ذکر است در هر یک از دو سایت پله‌ای (۱ و ۲) و زبانه‌ای(۳ و ٤) از نظر میزان pH خاک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ٤).

نتایج بررسی اثر ساده سایت‌های موردمطالعه بر میزان هدایت الکتریکی خاک نشان داد که همانند متغیر قبلی در دو نوع سولیفلکسیون موردمطالعه میزان هدایت الکتریکی خاک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشت. دامنه تغییرات هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در این چهار سایت بین ۰/۵۸ تا ٤/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. بیشترین و کمترین میزان هدایت الکتریکی خاک اندازه‌گیری شده به ترتیب در دو منطقه ۳ و ۱ مشاهده شد. لازم به ذکر است که در هر یک از دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای از نظر میزان هدایت الکتریکی خاک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ٤).

روند مشاهده شده در مورد میزان کربنات کلسیم معادل خاک‌های موردمطالعه بدین‌صورت بود که به‌طورکلی میزان این متغیر در سایت‌های از نوع پله‌ای بیشتر از نوع زبانه‌ای بود. بااین‌وجود بیشترین و کمترین میزان کربنات کلسیم اندازه‌گیری شده به ترتیب در دو سایت ۲ و ٤ بود. بین دو سایت ۳ و ٤ (سولیفلکسیون زبانه‌ای) اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد و این در حالی بود که در بین انواع پله‌ای این حالت وجود نداشت (شکل ٤).

اختلاف مشاهده شده بین مقادیر پتاسیم قابل‌دسترس خاک سایت‌های موردمطالعه معنی‌دار بوده و در مورد این متغیر هم نیز روند مشاهده شده مانند سایر فاکتورهای موردبررسی بوده و درمجموع دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند و لازم به ذکر است که اختلاف بین دو سایت ٤ و ۳ (نوع زبانه‌ای) معنی‌دار نبود (شکل ٤).

بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی به ترتیب در دو سایت ۲ و ۳ با مقادیر ۱/۲۲ و ۰/٤۲ درصد بود. تفاوت بین کربن آلی و کربنات کلسیم معادل در این بود که در این بخش بین دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و این اختلاف در دو نوع سولیفلکسیون زبانه‌ای معنی‌دار بود. زیرا در نوع زبانه‌ای گاهی اوقات در این نوع سولیفلکسیون بیش از یک لایه وجود دارد و چندین لوب بر یکدیگر غلبه کرده و روی هم قرار گرفته‌اند؛ بنابراین باعث تفاوت مقدار کربن در دو نوع زبانه‌ای شده است(شکل ٤).

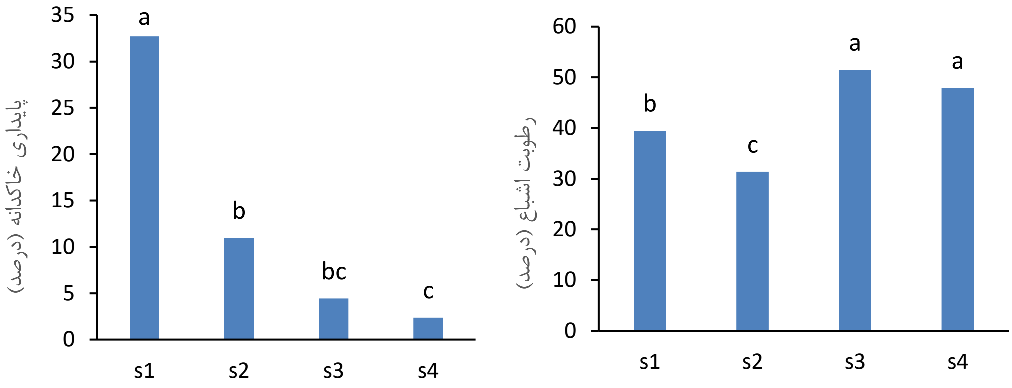


شکل ٤- مقایسه آماری خصوصیات شیمیایی خاک بین سولی فلکسیون‌های زبانه‌ای و پله‌ای

شکل ۵ نشان‌دهنده اثر سایت‌های موردمطالعه بر میزان رطوبت اشباع اندازه‌گیری شده در خاک است. طبق نتایج این متغیر هم اختلاف معناداری بین دو نوع سولیفلکسیون پله‌ای و زبانه‌ای داشت.

محدوده رطوبت اشباع اندازه‌گیری شده بین ۳۱/۳ تا ٥۱/٤ درصد بود (شکل ۵). بررسی میزان پایداری خاکدانه سایت‌های موردمطالعه نشان داد که میزان این متغیر در سولی‌فلکوسیون‌های نوع پله‌ای به‌مراتب بیشتر از نوع زبانه‌ای بود. بیشترین و کمترین درصد پایداری خاکدانه به ترتیب در دو سایت ۱ و ۳ با مقادیر ۳۲/۷ و ۲/۳۸ درصد بود

(شـــکل ۵). دامنه تغییرات پلیداری خاکدلنه زیاد بوده و بین دو ســـلیت ۳ و ٤ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد.



شکل ٥- مقایسه آماری سایت‌های موردمطالعه بر خصوصیات فیزیکی خاک

بررسی نتایج همبستگی فاکتورهای موردمطالعه نشان داد که در بین داده‌های موردمطالعه بیشترین میزان همبستگی بین هدایت الکتریکی و پایداری خاکدانه (**۰/۸۷−) وجود داشت (جدول ٤). ازجمله همبستگی‌های قابل‌ملاحظه در بین خصوصیات اندازه‌گیری شده می‌توان به همبستگی بین کربن آلی و پایداری خاکدانه (۰/۷۳) اشاره کرد.

جدول ٤- نتایج همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک در سایت‌های موردمطالعه

	pH	هدایت الکتریکی	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	رطوبت اشباع	تخلخل	فسفر	پتاسیم	پایداری خاکدانه
pH	۱	۰/۸۴**	−۰/۷۶**	−۰/۶۲**	۰/۷۸**	−۰/۳۳^{ns}	−۰/۳۷^{ns}	۰/۸۴**	−۰/۸۲**
هدایت الکتریکی		۱	−۰/۷۰**	−۰/۷۲**	۰/۷۵**	−۰/۴۹*	−۰/۳۴^{ns}	۰/۷۹**	−۰/۸۷**
کربنات کلسیم معادل			۱	۰/۷۳**	−۰/۹۰**	۰/۳۸^{ns}	۰/۵۱*	−۰/۶۳**	۰/۵۸*
کربن آلی				۱	−۰/۶۸**	۰/۵۱*	۰/۰۸^{ns}	−۰/۵۳*	۰/۷۳**
رطوبت اشباع					۱	−۰/۳۷^{ns}	−۰/۵۴*	۰/۶۵**	−۰/۶۶**
تخلخل						۱	۰/۱۰^{ns}	−۰/۲۲^{ns}	۰/۳۸^{ns}
فسفر							۱	−۰/۲۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}
پتاسیم								۱	−۰/۸۰**
پایداری خاکدانه									۱

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

٤-روابط بین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک

در این مطالعه میزان رطوبت اشباع اندازه‌گیری شده در سولیفلکسیون زبانه‌ای بیشتر از نوع پله‌ای بود. در این زمینه وریپالست و همکاران[1] در سال ۲۰۱۷ گزارش کردند که در سولیفلکسیون زبانه‌ای میزان رطوبت اشباع حاصل از چرخه‌های متعدد ذوب و انجماد در بخش میانی آن بیشتر از لبه‌ها بود. لازم به ذکر است که در این نوع سولیفلکسیون در مقایسه با نوع پله‌ای میزان رس بیشتر و شن کمتر بوده و این دلیل دیگری بر افزایش میزان رطوبت اشباع در سولیفلکسیون زبانه‌ای در مقایسه با پله‌ای بود.

در ارتباط با میزان هدلیت الکتریکی و رطوبت نیز این‌گونه می‌توان گفت که افزایش میزان رطوبت خاک باعث افزایش حلالیت نمک‌ها در محلول خاک شده است. مطالعات نشان داده که هدایت الکتریکی به‌شدت با رطوبت و بافت خاک مرتبط است. نکته موردبحث دیگر ارتباط بین هدایت الکتریکی و بافت خاک بوده و مطالعات نشان داد که هدایت الکتریکی بالاتر معمولاً به معنای مقدار بیشتر رس و مقدار کمتر شن است که در مطالعات مختلف ثابت شده است (نوایس و همکاران[2]، ۲۰۱۹. هیلی و ا اشمیدهالتر[3]، ۲۰۱۷. لاجلی و همکاران[4]، ۲۰۲۱). همچنین اکوو و بارتولومه[5] در سال ۲۰۱۱ در آزمایش‌های خود یک همبستگی مثبت قوی بین هدایت الکتریکی و میزان رطوبت خاک برای سه نوع خاک ارزیابی شده در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه را مشاهده کردند که با نتایج به دست آمده در این مطالعه نیز همخوانی دارد.

تأثیر رطوبت بر میزان کربن آلی خاک نیز بررسی و گزارش شده است که رطوبت خاک، محیط و فعالیت میکروبی خاک را تعیین می‌کند و ذخیره کربن خاک را کاهش می‌دهد (بروکت و همکاران ، ۲۰۱۲. کیو و همکاران[6]، ۲۰۲۱). در این مطالعه نیز بین رطوبت اشباع و میزان کربن آلی همبستگی منفی و معنی‌داری (۰/۹) مشاهده شد. به‌بیان‌دیگر افزایش میزان رطوبت در خاک سولیفلکسیون‌های زبانه‌ای باعث افزایش تجزیه ماده آلی و بالطبع کاهش میزان کربن آلی در این نوع سولیفلکسیون در مقایسه با نوع پله‌ای بود. وجود کربن آلی بالاتر نشان‌دهنده پوشش گیاهی بیشتر در نوع پله‌ای بوده که مشاهدات صحرایی نیز گواه این مطلب بود.

براساس نتایج همبستگی داده‌ها، پایداری خاکدانه با دو متغیر کربن آلی و کربنات کلسیم معادل همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. میزان این سه متغیر اندازه‌گیری شده در سولیفلکسیون‌های پله‌ای به‌مراتب بیشتر از زیانه‌ای بود. در مورد رابطه بین مقدار کربن آلی با پایداری خاکدانه‌ها تحقیقات جنسن و همکاران[7] در سال های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ نشان

1 Verpaelst et al
2 Novais et al
3 Heil and Schmidhalter
4 Lajili et al
5 Ekwue and Bartholomew
6 Qu et al
7 Jensen et al

داد که با افزایش میزان ماده آلی در خاک، پایداری خاکدانه نیز افزایش یافت که با نتایج به دست آمده در این تحقیق نیز همخوانی دارد.

۵- بحث

بررسی داده‌های اندازه‌گیری شده در این تحقیق نشان داد که بین دو نوع سولیفلکسیون موردمطالعه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت و تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بین سایت‌های دارای سولیفلکسیون زبانه‌ای و پله‌ای مشاهده شد به‌طوری‌که سولیفلکسیون‌های زبانه‌ای دارای بیشترین مقدار pH، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و پتاسیم قابل‌دسترس بودند، درحالی‌که میزان کربنات کلسیم معادل، پایداری خاکدانه و کربن آلی خاک در سولیفلکسیون‌های پله‌ای بیشترین مقدار بود.

روند مشاهده شده در بافت خاک انواع سایت‌ها بیانگر این مطلب بود که بافت‌های قرائت شده در خاک‌های سولیفلکسیون زبانه‌ای سنگین‌تر و دارای رس بیشتر و شن کمتری در مقایسه با نوع پله‌ای بود. وجود رس بیشتر در نوع زبانه‌ای و نقش آن در جذب آب‌های ناشی از بارندگی مانعی در برابر وقوع پدیده گسیختگی است (امامی و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین وجود رس می‌تواند عامل روان کننده و تشکیل‌دهنده سطوح و زبانه‌های لغزشی محسوب شود.

مطالعات (هجرت و همکاران[1]، ۲۰۱٤. بیلیچ[2]، ۲۰۰۸) حاکی از تأثیر بارز زاویه شیب بر الگوی خواص خاک در امتداد شیب بود؛ به‌طوری‌که مناطقی با شیب ملایم دارای pH بالاتر بوده است و بالعکس. با توجه به مطالب گفته شده و جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود که میزان شیب در سایت‌های زبانه‌ای کمتر از سایت‌های پله‌ای است که در انطباق با روند تغییرات pH بوده است.

در رابطه با روند مشاهده شده رطوبت خاک بندیکت در سال ۱۹۷٦ گزارش کرد که عدم وجود رطوبت در شیب‌های تندتر به دلیل تخلیه سریع رطوبت است. ازآنجایی‌که رطوبت خاک حرکت را در لوب‌های سولیفلوکسیون کنترل می‌کند، تنوع فضایی آن بر توزیع حرکت تأثیر می‌گذارد. بنابراین دو سایت ۳ و ٤ که نوع زبانه‌ای بودند به دلیل شیب کمتر مقدار رطوبت اشباع بیشتری در مقایسه با نوع پله‌ای داشتند. همچنین تجزیه‌وتحلیل خاک محتوای بالای سیلت را در نوع پله‌ای نشان می‌دهد بنابراین نوع پله‌ای بسیار نفوذپذیر بوده و منجر به تخلیه سریع باران و کاهش رطوبت می‌شود.

روند کربن آلی سایت‌های موردمطالعه نیز مانند کربنات کلسیم معادل بوده و میزان این متغیر در سولیفلکسیون‌های نوع پله‌ای به‌مراتب بیشتر از نوع زبانه‌ای بود، به‌طورکلی تغییرات میکروتوپوگرافی ایجاد شده توسط سولیفلکسیون

1 Hjort et al
2 Beylich

مکان‌های مناسبی بخصوص به‌صورت نقب زدن در اطراف رایزرها برای فعالیت جوندگان ایجاد می‌کنند (پرایس[1]، ۱۹۷۱؛ لی روکس و همکاران[2]، ۲۰۱۱). بالطبع به دلیل مواد مغذی ناشی از این جانداران و همچنین کود دامی در این مناطق پوشش گیاهی بیشتر است. همچنین الگوهای فضایی نرخ جابجایی و توزیع رسوب نیز تحت تأثیر جزایر پوشش گیاهی پایدار قرار می‌گیرد (هیوسمان و همکاران[3]، a۲۰۰۹). پوشش گیاهی خود دلیلی برای تغییرات ریز اقلیمی است که منجر به ناهمگونی فضایی در شدت یخبندان خاک و درنتیجه نرخ خزش می‌شود (هیوسمان و همکاران، b۲۰۰). همچنین نوع پله‌ای در جایی که سرعت حرکت در یک منطقه بزرگ یکنواخت است توسعه می‌یابد، درحالی‌که زبانه‌ای در جایی که حرکت کانالیزه می‌شود، توسعه می‌یابند (بندیکت[4]، ۱۹۷٦). بنابراین چون در نوع زبانه‌ای حرکت جریان مواد مرتب تجدید می‌شود اجازه رشد گیاهان درشت را نمی‌دهد و تنها یک لایه پوشش گیاهی مدفون در بیرونی‌ترین قسمت لوب وجود دارد که معمولاً گیاهان از نوع چمنی بوده ولذا کربن آلی در آن نسبت به نوع پله‌ای کمتر بوده است.

بررسی‌ها همچنین حاکی از این بود که در سولیفلکسیون‌های موردمطالعه، تأثیر میکرومورفولوژی‌ها بر خصوصیات اندازه‌گیری شده از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در مورد تأثیر میکروتوپوگرافی‌های مختلف هر سولیفلکسیون بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پریکوشکن و همکاران[5] سال ۲۰۱۰ گزارش داد که تمایز واضحی بین هتروژنتی‌های موجود در هر سولیفلکسیون وجود دارد: (۱) منطقه حذف (بخش بالایی شیب)، (۲) منطقه عبور (قسمت میانی شیب)، (۳) منطقه تجمع جزئی مواد و عناصر بیوژنیک وجود دارد. این در حالی بود که در این مطالعه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین این قسمت‌ها نبود و بنابراین در تضاد با مطالعه ذکر شده بوده است.

به‌طورکلی بحث در مورد تفاوت فاکتورهای اندازه‌گیری شده باید در ابتدا به تأثیر فرآیند تشکیل سولیفلکسیون‌ها بر خصوصیات خاک اشاره کرد و در ادامه به ارتباط و تأثیر هر یک از خصوصیات اندازه‌گیری شده پرداخت.

٦- جمع‌بندی

در این مطالعه نتایج حاکی از تأثیرگذاری نوع سولیفلکسیون بر خصوصیات خاک بود. مطالعه تفاوت خصوصیات اندازه‌گیری شده نشان از اهمیت مواد مادری و عوامل مختلف تأثیرگذار به‌عنوان عوامل زمینه‌ساز یا ماشه‌ای بر تشکیل خاک‌ها در انواع سولیفلکسیون‌های تشکیل شده داشت. لازم به ذکر است سایت‌های انتخابی ما در سولیفلکسیون پله‌ای عمدتاً پادگانه‌های آبرفتی تجزیه شده از سنگ‌های آهکی مادری و نوع زبانه‌ای بر روی سنگ مادری ریزدانه

1 Price
2 le Roux et al
3 Haussmann et al
4 Benedict
5 Prokushkin et al

تشکیل شده‌اند. به‌طورکلی به نظر می‌رسد که در طی فرآیند تشکیل سولیفلکسیون عوارض و ویژگی‌های فیزیوگرافی مانند شیب و ارتفاع سهم به سزایی داشته و این امر باعث به وجود آمدن خصوصیات متفاوتی در خاک‌های موردمطالعه می‌شود. به‌عبارت‌دیگر تنوع خاکشناسی تابع شرایط ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این شرایط در مناطق مرطوب قطعاً متفاوت خواهد بود و تفوق و برتری با پوشش گیاهی متراکم خواهد بود. ازجمله فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر خصوصیات خاک می‌توان به بافت و میزان رطوبت به‌عنوان دو فاکتور مهم در ایجاد حرکات دامنه‌ای اشاره کرد این فاکتورها در ادامه بر روی سایر فاکتورهای خاک مؤثر بوده و باعث به وجود آمدن خصوصیات متنوع در سولیفلکسیون‌های نوع پله‌ای و زبانه‌ای می‌شوند. از طرف دیگر بررسی اثر همزمان نوع سایت و نوع میکرومورفولوژی باعث شده که به دلیل تأثیر و تغییرات بیشتر در اثر نوع سایت یا همان سولیفلکسیون‌های مختلف؛ اثر نوع میکروموفولوژی از لحاظ آماری معنی‌دار نشود. به نظر می‌رسد که باید به فاکتورهایی مانند انتخاب نوع و مکان نمونه‌برداری از هر سولیفلکسیون و همچنین نوع مقایسه آماری دادها نیز دقت داشت؛ چراکه در این مطالعه علی‌رغم نمونه‌برداری از میکروموفولوژی‌های مختلف، نتایج اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. درنهایت نیز پیشنهاد می‌شود که مطالعه هر چه بیشتر خصوصیات خاک ازجمله خصوصیات زیستی به‌منظور تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت و کنترل فرآیند سولیفلکسیون به‌عنوان عامل اختلال طبیعی صورت گرفته و به نقش اکولوژیکی این فرم در حفظ تنوع زیستی توجه بیشتری شود. همچنین بررسی تأثیر فرآیندهای مختلف دخیل در تشکیل سولیفلکسیون‌ها (بررسی و مقایسه هر نوع سولیفلکسیون با یک نمونه به‌عنوان شاهد) بر خصوصیات خاک نیز از دیگر پیشنهادهایی است که می‌توان به آن اشاره کرد.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ ۱۳۷۹. *ژئومورفولوژی کاربردی: فرسایش آبی*. جلد اول. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.

امامی، سید نعیم؛ جلالیان، احمد؛ خسروی، عباس؛ ۱۳۹۵. نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: منطقه افسرآباد چهارمحال و بختیاری). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*. سال هفتم. شماره ۱۳. https://doi.org/ 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.192

رفاهی، حسینقلی. (۱۳۹٤). فرسایش آبی و کنترل آن. دانشگاه تهران.

قهرودی، منیژه؛ عادلی، زهرا؛ صدوق، سید حسن؛ ۱٤۰۰. روابط بیوژئومورفولوژی بین پوشش گیاهی، خاک، و عناصرلندفرمی (مطالعه موردی حوضه حبله رود). *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره۵۳. شماره ۳. https://doi.org/10.22059/JPHGR.2021.324212.1007619

محمودی، فرج‌الله؛ ۱۳۷۹. *ژئومورفولوژی دینامیک*. انتشارات دانشگاه پیام نور.

Benedict JB.1976. Frost creep and gelifluction features: a review. Quaternary Research. 6(1):55-76. https://doi.org/10.1016/0033-5894(76)90040-5.

Beylich, A. A., 2008. Sediment fluxes and sediment budget in Latnjavagge and the potential of applying unified methods for integrating investigations on sediment fluxes and budgets in cold-environment catchments. Geology for Society. Geological Survey of Norway Special Publication, 11, 111-130. http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Special%20publication/SP11_10_Beylich.pdf

Bouyoucos GJ. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal. 54(5): 464-475. https:// doi.org/ 10.2134/ agronj1962. 0002196200 5400050028x.

Brockett BF, Prescott CE, Grayston SJ., 2012. Soil moisture is the major factor influencing microbialcommunity structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. Soil biology and biochemistry. 44(1): 9-20. https:// oi.org/ 10.1016/ j.soilbio. 2011.09.003

Cannone N, Guglielmin M., 2010. Relationships between periglacial features and vegetation development in Victoria Land, continental Antarctica. Antarctic Science. 22(6):703-13. https://doi.org/10.1017/S0954102010000751

Carter MR, Gregorich EG., 2007. Soil sampling and methods of analysis. CRC press. https://doi.org/10.1201/9781420005271

Cullen CA, Al Suhili R, Aristizabal E. A., 2022. Landslide Numerical Factor Derived from CHIRPS for Shallow Rainfall Triggered Landslides in Colombia. Remote Sensing. 14(9): 22-39. https://doi.org/10.3390/rs14092239

Eichel J, Draebing D, Kattenborn T, Senn JA, Klingbeil L, Wieland M, Heinz E., 2020. Unmanned aerial vehicle-based mapping of turf-banked solifluction lobe movement and its relation to material, geomorphometric, thermal and vegetation properties. Permafrost and Periglacial Processes. 31(1):97-109. https://doi.org/10.1002/ppp.2036

Ekwue EI, Bartholomew J., 2011. Electrical conductivity of some soils in Trinidad as affected by density, water and peat content. Biosystems Engineering. 108(2): 95-103. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.11.002

Estefan G, Sommer R, Ryan J., 2013. Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the West Asia and North Africa region, 3: 65-119. https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/7512

French H.M., 1996. The Periglacial Environment, 2nd ed. Longman, Essex. 341 pp. https://doi.org/10.1017/S0016756897488258.

Haussmann N, Boelhouwers J, McGeoch M., 2009a. Fine scale variability in frost cycle dynamics surrounding cushions of the dominant vascular plant species (Azorella selago) on Marion Island. Geografiska Annaler. 91: 257–268. https://doi.org/ 10.1016/j.geomorph.2008.12.002.

Haussmann N, McGeoch M, Boelhouwers J., 2009b. Interactions between a cushion plant (Azorella selago) and surface sediment transport on sub-Antarctic Marion Island. Geomorphology. 107: 139–148. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.12.002

Haussmann NS. 2011. Biogeomorphology: Understanding different research approaches. Earth Surf. Process. Landforms. 36: 136–138. https://doi.org/10.1002/esp.2097

Heil K, Schmidhalter U., 2017. The Application of EM38: Determination of Soil Parameters, Selection of Soil Sampling Points and Use in Agriculture and Archaeology. Sensors 17: 25-40. https://doi.org/10.3390/s17112540

Hjort, J., Ujanen, J., Parviainen, M., Tolgensbakk, J., Etzelmüller, B., 2014. Transferability of geomorphological distribution models: evaluation using solifluction features in subarctic and

Arctic regions. Geomorphology 204, 165–176. https:// doi.org/ 10.1016/ j.geomorph. 2013.08.002
Jensen JL, Schjønning P, Christensen BT, Munkholm LJ., 2016. Suboptimal fertilisation compromises soil physical properties of a hard-setting sandy loam. Soil Research, 55(4): 332-340. https://doi.org/10.1071/SR16218.
Jensen JL, Schjønning P, Watts CW, Christensen BT, Peltre C, Munkholm LJ., 2019. Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. Geoderma, 337: 834-843. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.034
Kellerer-Pirklbauer A., 2018. Solifluction rates and environmental controls at local and regional scales in central Austria. Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography, vol. 72(1): 37-56. https://doi.org/10.1080/00291951.2017.1399164
Kemper WD, Rosenau RC., 1986. Aggregate stability and size distribution. Pp. 425-442. In: Klute A (ed). Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. https://doi.org/ 10.2136/sssabookser5.1.2ed
Lajili A, Cambouris AN, Chokmani K, Duchemin M, Perron I, Zebarth BJ, Biswas A, AdamchukVI., 2021. Analysis of Four Delineation Methods to Identify Potential Management Zones in a Commercial Potato Field in Eastern Canada. Agronomy. 11: 4-32. https://doi.org/10.3390/agronomy11030432
le Roux P, Boelhouwers J, Davis JD, Haussmann N, Jantze E, Meiklejohn I. 2011. Spatial association of rodent burrows with landforms in the Swedish subArctic mountains: implications for periglacial feature stability. Arctic, Antarctic and Alpine Research. 43: 223–228. https://doi.org/10.1657/1938-4246-43.2.223
Loeppert RH, Suarez DL., 1996. Carbonate and gypsum. Methods of soil analysis. 3: 437-474. https:// digitalcommons.unl.edu/ cgi/ viewcontent.cgi? article=1509&context= usdaars facpub
Lundgren L., 1978. Studies of soil and vegetation development on fresh landslide scars in the Mgeta Valley, Western Uluguru Mountains, Tanzania. Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography, 60: 91–127. https:// www.jstor.org/ stable/ 520435? Type Access Workflow=login.
Masyagina OV, Evgrafova SY, Bugaenko TN, Kholodilova VV, Krivobokov LV, Korets MA, Wagner D., 2019. Permafrost landslides promote soil CO2 emission and hinder C accumulation. Science of the Total Environment, 657: 351-364. https:// doi.org/ 10.1016/ j.scitotenv. 2018.11. 468
Matsuoka N., 2001. Solifluction rates, processes and landforms: a global review. Earth-Science Reviews, 55(1-2): 107-134. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00057-5
Novais W, Rodríguez-Mejías JC, Perret J, Soto C, Villalobos JE, Fuentes CL, Abdalla K., 2019. Calibration and validation of Veris MSP3 on two soils in Guanacaste, Costa Rica Agronomía Mesoamericana. 30(2): 535-551. https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33579
Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Page, A.L., Ed., Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 403-430. https:// acsess.onlinelibrary.wiley.com/ doi/book/ 10.2134/ agronmonogr9.2.2ed
Pansu M, Gautheyrou J., 2007. Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods. Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-540-31211-6_1
Price LW., 1971. Vegetation, microtopography, and depth of active layer on different exposures in subarctic Alpine tundra. Ecology. 52: 638–647. https://doi.org/ 10.2307/1934152.

Prokushkin SG, Bugaenko TN, Prokushkin AS, Shikunov VG., 2010. Succession driven Transformation of Plant and Soil Cover on Solifluction Sites in the Permafrost Zone of Central Evenkia. https://doi.org/ 10.1134/S1062359010010115.

Qu W, Han G, Wang J, Li J, Zhao M, He W, Wei S., 2021. Short-term effects of soil moisture on soil organic carbon decomposition in a coastal wetland of the Yellow River Delta. Hydrobiologia, 848(14):3259-3271. https://doi.org/10.1134/S1062359010010115.

Reddy VS, Singh JS. 1993. Changes in vegetation and soil during succession following landslide disturbance in the Central Himalaya. J. Environ. Manag. 39: 235–250. https:// doi.org/ 10.1006/jema.1993.1068

Ridefelt, H., Etzelmüller, B., & Boelhouwers, J., 2010. Spatial analysis of solifluction landforms and process rates in the Abisko Mountains, northern Sweden. Permafrost and periglacial processes, 21(3), 241-255. https://doi.org/10.1002/ppp.681

Rose JP, Malanson GP., 2012. Microtopographic heterogeneity constrains alpine plant diversity, Glacier National Park, MT. Plant Ecology. 213(6): 955-965. https:// www.jstor.org/ stable/ 23267480? typeAccessWorkflow=login

Van Eyndea E, Dondeynea S, Isabiryeb M, Deckersa J, Poesen J., 2017. Impact of landslides on soil characteristics: Implications for estimating their age, Catena 157. https:// doi.org/ 10.1016/ j.catena.2017.05.003

Verpaelst, M., Fortier, D., Kanevskiy, M., Paquette, M., & Shur, Y., 2017. Syngenetic dynamic of permafrost of a polar desert solifluction lobe, Ward Hunt Island, Nunavut. Arctic Science, 3(2), 301-319. https://doi.org/10.1139/as-2016-0018

Völkel J, Huber J, Leopold M., 2011. Significance of slope sediments layering on physical characteristics and interflow within the Critical Zone–Examples from the Colorado Front Range, USA. Applied Geochemistry, 26:143-145. https:// doi.org/ 10.1016/ j.apgeochem. 2011.03.052

Walker LR, Shiels AB., 2013. Physical Causes and Consequences. Landslide Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 4: 46–81. https:// digitalcommons.unl.edu/ icwdm_usdanwrc/ 1640/ ?utm_source=digitalcommons.unl.edu% 2Ficwdm_usdanwrc%2 F1640&utm medium= PDF&utm_campaign=PDFCoverPages

Walkley A, Black IA., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil science, 37(1): 29-38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Zarin DJ, Johnson AHA., 1995. Base saturation, nutrient cation, and organic matter increases during early pedogenesis on landslide scars in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Geoderma. 65: 317–330. https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00048-F